

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

(1) N° de publication : 2 613 351
(à n'utiliser que pour
commandes de reproduction)
(21) N° d'enregistrement national : 88 03926
(51) Int Cl⁴ : C 03 B 5/16.

(12) **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

A1

(22) Date de dépôt : 25 mars 1988.

(30) Priorité : US, 3 avril 1987, n° 33,944.

(43) Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 40 du 7 octobre 1988.

(60) Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

(71) Demandeur(s) : PPG INDUSTRIES, INC. — US.

(72) Inventeur(s) : Joseph Michael Matesa.

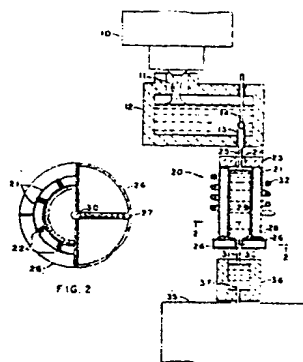
(73) Titulaire(s) :

(74) Mandataire(s) : Office Blétry.

(54) Procédé de chauffage rapide par induction de verre fondu ou analogue.

(57) L'invention concerne un procédé de chauffage rapide par
induction de verre fondu ou analogue.

Un bain d'une matière telle que du verre est chauffé par
induction dans un étage 20 situé entre un étage initial de
liquéfaction 10 et un étage d'affinage 35; la fonction de
l'étage intermédiaire de chauffage par induction est limitée
dans l'essentiel à une augmentation de la température du bain
d'une valeur relativement petite jusqu'à une température d'affi-
nage; en conséquence, l'étage de chauffage par induction peut
être compact, avec augmentation de la vitesse de chauffage et
de la productivité, ce qui permet de prévoir pour la zone de
chauffage par induction un récipient à paroi « froide » sans
diminution notable du rendement.



FR 2 613 351 - A1

La présente invention concerne un procédé de chauffage électrique par induction d'une masse de matière fondue. L'invention est applicable à la fusion d'une matière dans laquelle des courants électriques peuvent être induits et elle est en particulier applicable à la fusion du verre ou analogue.

Il est bien connu qu'une matière peut être chauffée par des courants induits quand cette matière est placée à l'intérieur d'un enroulement où circule un courant alternatif. Un avantage de ce type de chauffage consiste en ce que la matière à chauffer n'entre pas en contact avec la source électrique; par exemple, des électrodes n'ont pas besoin d'être immergées dans le bain fondu. Le concept général de chauffage par induction du verre a été décrit dans de nombreux brevets, par exemple, les brevets U.S. Nos. 1 830 481; 1 906 594; 3 205 292; et 3 244 495. Une grande part de l'art antérieur est limitée à des réalisations à petite échelle, et une fusion à grande échelle du verre par chauffage par induction n'a pas trouvé une acceptation industrielle importante. L'énergie thermique produite par combustion d'un combustible est généralement plus économique que l'énergie électrique pour la fusion du verre. En outre, un chauffage par induction a été parfois considéré comme étant d'un mauvais rendement pour transformer du courant électrique en énergie thermique. Egalement, on a considéré parfois dans l'art antérieur qu'un chauffage par induction à grande échelle du verre nécessiterait l'utilisation d'un enroulement d'induction de dimensions excessives.

Dans le brevet U.S. No. 4 610 711 (Matesa et al.), il est décrit une solution plus économique pour utiliser un chauffage par induction dans un processus de fabrication du verre, où le chauffage par induction est

limité à une montée de la température du verre jusqu'à sa température maximale d'affinage dans une étape en aval ou de terminaison du processus. Il serait souhaitable d'utiliser un chauffage par induction efficacement dans d'autres étapes du processus de fabrication du verre.

Un chauffage par induction est capable de produire de très grandes densités de puissance, qui peuvent engendrer des vitesses très élevées de transfert d'énergie. Une fusion par induction nécessite un récipient pour contenir le bain de fusion et ce récipient est également chauffé par le champ électrique. Pour de grandes vitesses de chauffage, un refroidissement du récipient peut être nécessaire pour conserver son intégrité ou pour retarder une contamination du bain par une érosion du récipient. Cependant, le refroidissement réduit le rendement du processus de chauffage. Un agencement qui augmente au maximum la pureté du bain fondu au détriment du rendement a été décrit dans le brevet U.S. No. 3 461 215 (Reboux). Il est prévu à cet égard des éléments de refroidissement intervenant dans le récipient et qui sont en contact direct avec la matière en train d'être fondue, la vitesse d'extraction de la chaleur étant suffisante pour maintenir une couche de matière non-fondue. L'élimination de la contamination rend un tel agencement attrayant pour la production d'un verre de haute qualité mais, pour une grosse production industrielle, les grandes pertes en énergie seraient économiquement prohibitives.

Conformément à la présente invention, du verre fondu ou analogue est chauffé dans un étage distinct au moyen d'un chauffage par induction dans un récipient refroidi. La matière pénétrant dans l'étage de chauffage par induction est de préférence au moins dans une condition partiellement liquéfiée à une température élevée, et la fonction de l'étage de chauffage par induction est d'augmenter relativement peu

la température de la matière. Par exemple, la matière peut être initialement liquéfiée, c'est-à-dire partiellement fondue jusque dans une condition fluide, dans un étage préliminaire utilisant un transfert de chaleur rayonnante, comme celui décrit dans le brevet U.S. No. 4 381 934 (Kunkle et al.), à partir duquel la matière liquéfiée est déchargée à des températures un peu inférieures à la température maximale de traitement désirée. Dans un tel cas, l'étage de chauffage par induction de la présente invention peut servir à augmenter la température du bain jusqu'à une température désirée pour un affinage, c'est-à-dire pour expulser le contenu gazeux du bain, avant l'introduction dans un étage d'affinage. Puisque le chauffage par induction est effectué séparément de toute autre fonction de traitement, le temps de séjour du bain dans l'étage de chauffage par induction peut être limité au temps nécessaire pour produire l'augmentation de température désirée. Du fait du transfert intense de chaleur qui peut être obtenu par chauffage par induction, l'augmentation désirée de température peut être réalisée en un temps court. Il en résulte que le récipient de chauffage par induction de la présente invention peut être relativement petit, en comportant une petite zone superficielle intérieure correspondante qui est en contact avec le bain. Un récipient refroidi peut être utilisé pour l'étage de chauffage par induction sans qu'il se produise une forte diminution du rendement, bien qu'il puisse exister une grande différence de température entre le bain et le récipient, du fait que la petite zone superficielle limite la quantité de chaleur perdue vers le récipient refroidi. En même temps, le récipient refroidi permet de produire un très haut niveau d'induction dans le bain situé dans le récipient sans détérioration de ce dernier ou sans contamination du bain.

Du fait qu'un très court temps de séjour

est obtenu dans le récipient de chauffage par induction de la présente invention, il est prévu à la suite un étage d'achèvement de la fusion ou d'affinage du verre. Cet étage d'affinage peut être constitué de tout agencement de l'art antérieur, adapté pour permettre un échappement d'inclusions gazeuses hors du bain. Dans sa forme la plus simple, l'étage d'affinage peut constituer un caisson réfractaire, s'étendant horizontalement d'une manière classique et dans lequel il est prévu un temps de séjour à l'état passif pour l'affinage. Puisque le bain de verre fondu pénètre en provenance de l'étage de chauffage par induction à la température d'affinage, peu ou pas de chauffage est nécessaire dans le dispositif d'affinage. Une technique d'affinage préférée est celle décrite dans la demande de brevet américain déposée aux Etats-Unis sous le No. 894 143 le 7 Août 1986, où un vide est utilisé pour aider l'affinage.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention seront mis en évidence, dans la suite de la description, donnée à titre d'exemple non limitatif, en référence aux dessins annexés dans lesquels:

la Figure 1 est une vue latérale d'une combinaison préférée d'un dispositif de liquéfaction, d'un récipient récepteur, d'un dispositif de chauffage par induction, d'un récipient compensateur et d'un dispositif d'affinage, le récipient récepteur et le dispositif de chauffage par induction étant représentés en coupe verticale,

la Figure 2 est une vue en coupe horizontale de la réalisation préférée du dispositif de chauffage par induction, faite selon la ligne 2-2 de la Fig. 1.

Les principes de la présente invention sont applicables au chauffage par induction d'une grande diversité de matières fondues, mais la description détaillée qui va suivre se rapporte principalement à une réalisation

conçue spécifiquement pour fondre du verre. Additionnellement, la réalisation spécifique qui va être décrite est adaptée pour une production continue à des vitesses relativement grandes. La présente invention est particulièrement avantageuse dans de telles conditions, mais elle n'est pas limitée à celles-ci.

L'ensemble des éléments représentés sur la Figure 1 est une combinaison préférée dans laquelle l'étage de chauffage par induction est situé entre un étage de liquéfaction et un étage d'affinage. L'étage de chauffage par induction suit un étage de liquéfaction du fait qu'il est plus efficace de chauffer les matières premières de la charge jusqu'à une température où la matière est susceptible d'être soumise à des courants induits par des moyens autres qu'un chauffage par induction. Dans le cas d'une fritte, la susceptibilité devient importante après qu'une fusion a été amorcée. Le terme "liquéfié" est utilisé ici pour signifier qu'une fusion a été amorcée (c'est-à-dire qu'une phase liquide est présente), mais qu'elle n'est pas nécessairement terminée. L'étape de liquéfaction pourrait être réalisée par des moyens bien connus dans l'art antérieur, par exemple au moyen d'un four de fusion classique, chauffé par combustion ou par électricité, mais une réalisation préférée correspond à la technique décrite dans le brevet des Etats-Unis U.S. No. 4 381 934 (Kunkle et al.). Dans ce cas, de la chaleur rayonnante, de préférence produite par combustion, assure la liquéfaction d'une charge de verre sur une surface inclinée, et la matière liquéfiée s'écoule librement hors du récipient de liquéfaction avant qu'elle soit complètement fondue. Sur la Figure 1, un récipient de liquéfaction 10 de ce type est représenté schématiquement. Le récipient 10 peut être monté de manière à tourner autour d'un axe vertical, une couche de la matière de la charge étant retenue sur les

parois latérales intérieures du récipient de façon à agir comme la surface sur laquelle la liquéfaction se produit. Un courant de matière liquéfiée 11 sort par une ouverture de fond du récipient 10.

5 La matière liquéfiée 11 sortant du type préféré d'étage de liquéfaction décrit ci-dessus est généralement d'une nature mousseuse et peut contenir des particules solides. Cette matière fluide partiellement fondue
10 pourrait être introduite directement dans l'étage de chauffage par induction, mais il est préféré d'installer un récipient récepteur 12 entre les étages de liquéfaction et de chauffage par induction de manière qu'il agisse
15 comme un réservoir compensateur pour assurer la régulation de l'écoulement dirigé vers l'étage de chauffage par induction. Le récipient récepteur 12 peut également établir
20 un certain temps de séjour pour une partie ou la totalité des particules solides restant dans la matière liquéfiée en vue de leur dissolution. Une sortie du récipient récepteur 12 peut comprendre un tube de décharge 13 par
25 l'intermédiaire duquel un écoulement peut être réglé à l'aide d'une vanne, comme une vanne classique comportant un plongeur 14 tel que celui représenté sur la Figure 1, qui peut être déplacé verticalement pour faire varier l'ouverture de sortie. Bien que le tube de décharge 13
30 soit représenté comme s'étendant verticalement au travers du fond du récipient 12, il est évident que la sortie pourrait traverser au contraire une paroi latérale et pourrait utiliser d'autres agencements de vannes, ou bien aucune vanne.

30 La réalisation préférée du dispositif de chauffage par induction 20 représenté sur la Figure 1 est semblable à celle décrite dans le brevet U.S. No. 3 461 215 (Reboux), qui est cité ici à titre de référence. La partie de paroi latérale du récipient 20 est formée
35 de plusieurs panneaux creux 21, allongés verticalement

et qui sont électriquement isolés l'un de l'autre par des entretoises réfractaires 22, constituées de préférence d'un matériau qui ne contamine pas la matière en train d'être fondue, comme de la silice. Par subdivision

5 du récipient en un certain nombre de segments isolés électriquement, les trajets de passage des courants induits dans la matière conductrice sont raccourcis, en limitant ainsi les niveaux de tension qui peuvent être engendrés et en réduisant les pertes au minimum. Les per-

10 tes sont également réduites par fabrication des panneaux 21 avec des parois aussi minces que possible tout en satisfaisant aux impératifs de résistance structurale. Une augmentation du nombre de panneaux dans un récipient d'une dimension donnée diminue les pertes imputables à

15 des courants induits dans le récipient mais augmente la complexité et le coût de fabrication de l'appareillage. En conséquence, le nombre de panneaux est une question de choix en fonction de l'importance relative de l'efficacité du système de chauffage par induction.

20 Un couvercle réfractaire 23, pourvu d'un orifice 24 servant à introduire un courant de matière liquéfiée 25 dans le récipient, peut être prévu en haut du récipient de chauffage par induction afin de réduire la perte de chaleur à partir de celui-ci. Le fond du récipient peut

25 être formé de sections creuses, segmentaires et conductrices 26, d'une manière semblable à celle des panneaux 21, en vue de réduire des courants induits de fuite. Les sections de fond 26 sont isolées électriquement l'une de l'autre par des couches isolantes réfractaires 27, et

30 elles sont isolées des bases des panneaux 21 par une couche isolante annulaire 28. Il est prévu dans le fond une ouverture 30 par laquelle peut passer un courant 31 de la matière chauffée. A la fois les panneaux 21 et les sections de fond 26 sont refroidis par écoulement forcé

35 d'un fluide de refroidissement (de préférence de l'eau),

dans les cavités des éléments précités, avec un débit suffisant pour maintenir leur intégrité structurale dans les conditions opératoires.

Le refroidissement du récipient 20 de chauffage par induction, et sa réalisation en un matériau conducteur, font en sorte qu'une couche 29 du bain se solidifie sur l'intérieur du récipient. La couche solidifiée sépare le bain des parois du récipient, en évitant ainsi une corrosion des parois du récipient de même qu'une contamination du bain. La température de la couche est maintenue suffisamment basse par le refroidissement pour que la couche ne soit pas rendue susceptible, à un degré important, à des courants induits, tandis que la matière fondue se trouvant à l'intérieur du récipient rentre bien dans la gamme de susceptibilité significative.

Un enroulement ou bobine 32 comportant un certain nombre de spires entoure, mais avec un espacement relatif, l'ensemble annulaire formé par les panneaux 21 dans le récipient 20. L'enroulement est formé d'un tube électriquement conducteur (par exemple en cuivre) dans lequel on fait passer du réfrigérant pour protéger l'enroulement dans l'environnement chaud. Pour éviter une induction excessive de courants inutiles dans les sections de fond 26 et les éléments porteurs structuraux correspondants, l'enroulement 32 est de préférence espacé d'au moins un diamètre d'enroulement du fond du récipient 20. L'enroulement est espacé des panneaux 21 afin d'éviter une formation d'arc entre eux mais, par ailleurs, le diamètre est de préférence réduit au minimum afin de concentrer le flux électromagnétique à l'intérieur du récipient.

L'enroulement d'induction 32 est relié aux bornes du secondaire d'un transformateur en parallèle avec un condensateur. Le condensateur et l'enroulement établissent entre eux un circuit résonnant ayant une grande

fréquence et un fort ampérage, ce qui permet d'utiliser un petit nombre de spires, par exemple de une à cinq, pour l'enroulement d'induction. Le fort ampérage donne lieu à un grand flux magnétique, en dépit du petit nombre de spires de l'enroulement, ce qui permet d'obtenir pour l'enroulement des capacités d'induction substantielles. En variante, on pourrait augmenter le flux magnétique par augmentation du nombre de spires de l'enroulement, mais de plus hautes tensions seraient nécessaires, ce qui imposerait désavantageusement des restrictions en ce qui concerne le type d'équipement électrique pouvant être utilisé. Typiquement, plusieurs condensateurs branchés mutuellement en parallèle sont utilisés pour établir la capacité totale désirée. La fréquence et la capacité du circuit résonnant peuvent être définis par l'équation suivante:

$$f = 1/[2 \pi (LC)^{1/2}]$$

où:

- 20 f = la fréquence de résonance (Hz);
 L = inductance de l'enroulement (henrys);
 C = capacité (farads).

25 D'autres calculs de conception d'enroulements de chauffage par induction ont été donnés par R.M. Baker dans "American Institute of Electrical Engineers Transactions", Volume 76, 2ème Partie, 1957, pages 31-40.

30 La résistivité du verre fondu varie avec la température, mais une valeur typique est d'environ 6 à 14 ohms-centimètres, qui est grande par rapport à des matières auxquelles un chauffage par induction est plus conventionnellement appliqué. Cela conduit à certains avantages lors de la conception d'un système de chauffage par induction pour fondre du verre. La profondeur de pénétration du courant dans la matière en train d'être
35 chauffée est un facteur essentiel intervenant dans la

conception d'un système de chauffage par induction. D'une manière classique, il est recommandé que le diamètre de la matière à chauffer soit environ le triple de la profondeur de pénétration de courant (se référer
5 par exemple au brevet britannique 1 430 382) mais, pour du verre fondu, on a trouvé que le chauffage par induction pouvait être efficacement appliqué à une masse de verre fondu dont le diamètre est égal ou inférieur à la
10 profondeur de pénétration du courant. La profondeur de pénétration du courant peut être calculée pour le verre par la formule suivante:

$$d = 5033 (\rho/f)^{1/2}$$

où:

- 15 d = profondeur de pénétration de courant, en centimètres;
 ρ = résistivité, en ohms-centimètres;
 f = fréquence, en Hertz.

20 Certains aspects théoriques du chauffage par induction, lorsqu'il est appliqué à la fusion de verre, ont été définis par B. Scott et H. Rawson dans "Glass Technology", Volume 14, No. 5, Octobre 1973, pages 115-124.

25 Un principe classique adopté pour la conception d'un enroulement inducteur consiste en ce que la longueur de l'enroulement soit égale ou supérieure à son diamètre et ce principe s'est avéré applicable également à la présente invention. Une transmission efficace d'énergie au bain de fusion a été obtenue
30 avec un enroulement ayant une longueur égale à son diamètre, mais il est possible d'obtenir un transfert plus efficace d'énergie avec un enroulement d'une longueur supérieure. Le diamètre intérieur du récipient
20 de chauffage par induction est déterminé par anticipation
35 d'impératifs concernant les capacités de production et

les temps de séjour. En réduisant au minimum la différence entre le diamètre intérieur du récipient et le diamètre de l'enroulement, on obtient des avantages par le fait que le flux magnétique est plus efficacement utilisé pour induire des courants dans le bain de fusion, ce qui permet ainsi d'utiliser un enroulement relativement petit avec des conditions d'ampérage pouvant être satisfaites en pratique. Pour un volume donné, il est généralement souhaitable de réduire au minimum la hauteur du récipient afin de réduire au minimum la zone de perte de chaleur au travers des parois.

Selon une particularité de la présente invention, le chauffage par induction est intensifié dans un petit volume de telle sorte que la perte de chaleur au travers des parois du récipient constitue un facteur relativement insignifiant du fait de la petite zone de transmission de chaleur. Le temps de séjour de la matière traversant le récipient de chauffage par induction est également relativement court, de l'ordre de quelques minutes, typiquement de moins de 10 minutes, et de préférence de moins de 5 minutes. La densité de puissance à l'intérieur du récipient de chauffage par induction dépend du degré de chauffage désiré et de la capacité de production envisagée. Dans les applications préférées de l'invention, la densité de puissance est d'au moins 3,5 kilowatts par litre, typiquement de l'ordre de 5,3 kilowatts par litre. A ces niveaux de puissance, une augmentation de température dans le verre fondu de l'ordre de 100 à 280 degrés centigrades peut être obtenue pour un rapport entre la masse de matière fondue maintenue dans le récipient d'induction et le débit de sortie par période de 24 heures de moins de 0,1 est de préférence de moins de 0,06. Par exemple, un débit de 10,9 tonnes par jour pourrait être obtenu dans les conditions précitées avec un récipient de chauffage par

induction d'environ 280 litres, qui peut être agencé
avantageusement sous la forme d'un cylindre ayant un
diamètre intérieur de 0,45 mètre et une hauteur de
1,7 mètre. Les niveaux de puissance indiqués ci-dessus
5 peuvent être obtenus avec application de fréquences
d'environ 100 à 300 kilohertz à l'enroulement. Des den-
sités de puissance considérablement supérieures peu-
vent être obtenues lorsqu'un degré supérieur de chauffage
est désiré.

10 Du verre devient un susceptible important de
courants induits seulement à des températures élevées
(pour une résistivité de préférence inférieure à 14 ohms-
centimètres). En conséquence, le bain est chauffé, con-
formément à la présente invention, à une température de
15 susceptibilité avant son introduction dans le récipient
de chauffage par induction, de sorte que l'action de
l'étape de chauffage par induction est limitée à la pro-
duction d'une augmentation de température relativement
modérée dans le bain. La majorité de l'énergie de fusion
20 et d'affinage sera conférée à la matière avant qu'elle
pénètre dans l'étape de chauffage par induction. La
consommation de courant électrique relativement coûteux
est par conséquent réduite et la technique de chauffage
par induction est appliquée lorsqu'elle est la plus
25 efficace - pour augmenter la température d'une matière
qui est déjà chaude. Cela est différent du transfert de
chaleur par rayonnement, dont l'efficacité est fortement
dépendante d'une différence de température.

Les températures utilisées varient pour
30 des compositions différentes mais, à titre d'exemple,
une composition standard de verre plat à base de soude-
chaux-silice est liquéfiée à une température d'environ
1150°C à 1315°C et, à ces températures, le bain de fusion
présente une susceptibilité importante à des tensions
35 raisonnables. En conséquence, il est possible de faire
passer directement le verre du dispositif de liquéfaction

10 ou du récipient récepteur 12 dans l'étage de chauffage par induction sans avoir à apporter additionnellement de la chaleur. Pour réaliser une fusion et un affinage appropriés du verre dans cet exemple, on a généralement
5 considéré comme souhaitable d'augmenter sa température jusqu'à environ 1370°C ou bien à une valeur aussi élevée qu'environ 1540°C. En conséquence, l'étage de chauffage par induction peut servir à augmenter la température
10 d'environ 55 à 390 degrés centigrades. La température particulière d'affinage à laquelle le bain est chauffé dépend en partie de la technique d'affinage utilisée dans l'étage d'affinage ultérieur. La présente invention produit avantageusement une augmentation distincte et limitée de la température au moyen d'un chauffage par
15 induction, mais il va de soi que de plus fortes augmentations de la température pourraient être réalisées si cela était imposé par des situations particulières.

Du fait qu'aucune tentative n'est faite pour établir, dans le récipient de chauffage par induction de la présente invention, un temps de séjour suffisant pour terminer l'affinage, le bain est transféré de
20 l'étage de chauffage par induction dans un étage d'affinage séparé. L'invention n'est pas limitée à un procédé particulier d'affinage mais elle est particulièrement adaptée à un processus d'affinage qui est effectué dans
25 un étage distinct et adapté spécifiquement pour un affinage. En d'autres termes, puisque pratiquement toute l'énergie thermique nécessaire pour l'affinage a été conférée au bain lorsqu'il quitte l'étage de chauffage par induction, l'étage d'affinage peut être adapté en
30 particulier pour éliminer des gaz du bain. Un exemple préféré est représenté sur la Figure 1.

Le processus préféré d'affinage utilisable dans la présente invention fait intervenir une pression
35 réduite pour enlever les gaz du bain. Une chambre d'affinage

sous vide 35, dont la partie supérieure est représentée sur la Figure 1, peut être prévue pour recevoir le bain fondu provenant du récipient 20 de chauffage par induction. Un réservoir compensateur 36 peut être interposé
5 entre le récipient de chauffage par induction et la chambre d'affinage afin d'assurer un écoulement stable de la matière fondue sous la pression réduite du récipient d'affinage. Un tube 37 constitué d'un matériau non-contaminant, comme du platine, peut canaliser le courant
10 de matière fondue du réservoir compensateur 36 jusque dans la chambre d'affinage 35. Si cela est souhaité, une vanne (non représentée) peut coopérer avec le tube 37 pour moduler le débit de l'écoulement introduit dans la chambre d'affinage. Le récipient d'affinage sous vide
15 pourrait se présenter sous une diversité de configurations bien connues dans l'art antérieur, mais la réalisation préférée fait intervenir un récipient allongé verticalement, ayant une forme cylindrique dans l'ensemble et dans lequel la matière fondue est introduite dans sa partie
20 supérieure et forme de la mousse quand elle pénètre dans le volume de tête à pression réduite, en ce contractant sous la forme d'une masse de matière fondue créant une colonne d'égalisation de pression, la matière étant évacuée pratiquement à la pression atmosphérique à partir
25 d'une partie inférieure du récipient. Le récipient d'affinage sous vide peut comporter une gaine métallique revêtue de réfractaire, refroidie et étanche à l'air. Une vanne peut aussi être prévue à la sortie pour commander le débit de matière sortant du dispositif d'affinage sous vide. La matière fondue se trouvant dans le
30 dispositif d'affinage n'a pas besoin d'être plus chauffée mais, avec une gaine refroidie, il peut être souhaitable de compenser les pertes de chaleur au travers des parois en disposant une source auxiliaire de chaleur à l'intérieur
35 du dispositif d'affinage. Généralement, la température

maximale dans un processus de fusion et d'affinage de verre est établie dans la zone d'affinage afin de réduire la viscosité du bain pour accélérer l'échappement des gaz. Un processus d'affinage assisté par vide n'a pas besoin d'être autant basé sur une réduction de viscosité et, en conséquence, la température maximale n'a pas besoin d'être aussi élevée. En conséquence, un affinage sous vide constitue un complément avantageux de la technique de chauffage par induction séparée conformément à cette invention du fait que la diminution des impératifs concernant la température permet de raccourcir les temps de séjour dans le récipient refroidi de chauffage par induction. Par exemple, un verre à base de soude-chaux-silice qui nécessiterait normalement une température maximale d'affinage d'environ 1540°C peut être affiné sous vide à des températures non-supérieures à 1430°C. Moins la pression dans un étage d'affinage sous vide est grande, moins la température maximale d'affinage nécessaire est élevée.

La présente invention est applicable en particulier à la production continue de verre à une échelle industrielle relativement grande, qui peut être caractérisée par une productivité d'au moins 9 tonnes de verre par jour.

Bien entendu, la présente invention n'est nullement limitée aux modes de réalisation décrits et représentés; elle est susceptible de nombreuses variantes accessibles à l'homme de l'art, suivant les applications envisagées et sans que l'on ne s'écarte de l'esprit de l'invention.

REVENDECATIONS

1. Procédé de fusion et d'affinage de verre, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes consistant à:
- former un bain de verre non-affiné dans un
5 premier étage;
- transférer le bain dans un second étage comprenant un récipient métallique, refroidir le récipient métallique par une circulation de fluide réfrigérant en contact avec lui, suffisamment pour maintenir une couche
10 solidifiée du bain sur l'intérieur du récipient, induire des courants électriques dans le bain à l'intérieur du récipient au moyen d'un enroulement disposé autour du récipient métallique afin d'augmenter la température du bain jusqu'à une température d'affinage; et
15 - transférer le bain chauffé dans un troisième étage où le bain est affiné.
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que les courants électriques sont induits dans le second étage par un champ magnétique ayant une densité
20 de puissance d'au moins 3,5 kilowatts par litre.
3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la température du bain est augmentée dans le second étage de 55°C à 390°C.
4. Procédé selon la revendication 1, caractérisé
25 en ce que le temps de séjour moyen du bain dans le second étage est inférieur à 10 minutes.
5. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le bain est soumis à une pression subatmosphérique dans le troisième étage.
- 30 6. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le verre est fondu et affiné à un débit d'au moins 9 tonnes par jour.
7. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que le verre est un verre à base de soude-chaux-silice.

8. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le rapport entre la masse du bain maintenue dans le second étage et la masse du bain passant dans le second étage dans une journée est inférieur à 0,1.
- 5 9. Procédé de fusion et d'affinage de verre, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes consistant à:
- former un bain de verre non-affiné dans un premier étage;
 - transférer le bain dans un second étage où
- 10 le bain est soumis à un champ électromagnétique alternatif suffisant pour induire des courants dans le bain afin d'augmenter la température du bain à une température d'affinage, la densité de puissance des courants induits dans le bain étant d'au moins 3,5 kilowatts par litre; et
- 15 - transférer le bain à la température d'affinage dans un troisième étage où le bain est affiné;
10. Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce que le rapport entre la masse du bain maintenue dans le second étage et la masse du bain passant dans le second
- 20 étage dans une journée est inférieur à 0,1.
11. Procédé selon la revendication 10, caractérisé en ce que la température du bain est augmentée dans le second étage de 55°C à 390°C.
12. Procédé selon la revendication 9, caractérisé
- 25 en ce que le verre est fondu et affiné à un débit d'au moins 9 tonnes par jour.
13. Procédé selon la revendication 12, caractérisé en ce que le verre est du verre à base de soude-chaux-silice.
14. Procédé selon la revendication 9, caractérisé
- 30 en ce que le bain est soumis à une pression subatmosphérique dans le troisième étage afin d'affiner le bain.
15. Procédé de fusion et d'affinage de verre, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes consistant à:

- former un bain de verre non-affiné dans un premier étage;

5 - transférer le bain dans un second étage et maintenir un volume du bain dans un récipient en soumettant ce volume de bain à un champ électromagnétique alternatif afin de chauffer le bain jusqu'à une température d'affinage au moyen de courants induits, le rapport de la masse du volume maintenue dans le bain à la masse de bain passant dans le récipient dans une journée étant inférieur
10 à 0,1; et

- transférer en continu le bain à des températures d'affinage du second étage dans un troisième étage où le bain est affiné.

16. Procédé selon la revendication 15, caractérisé
15 en ce que les courants sont induits dans le bain se trouvant dans le second étage par un champ magnétique ayant une densité de puissance d'au moins 3,5 kilowatts par litre.

17. Procédé selon la revendication 15, caractérisé
20 en ce que la température du bain est augmentée dans le second étage de 55°C à 390°C.

18. Procédé selon la revendication 15, caractérisé en ce que le verre est fondu et affiné à un débit d'au moins 9 tonnes de verre par jour.

25 19. Procédé selon la revendication 18, caractérisé en ce que le verre est du verre à base de soude-chaux-silice.

20. Procédé selon la revendication 15, caractérisé en ce que le bain est soumis à une pression sub-atmosphérique dans le troisième étage pour son affinage.
30

